



**SCIENCES DU DEMANTELEMENT
DES INSTALLATIONS NUCLEAIRES.**

08 et 09 Octobre 2014.

**G LAURENT
EDF/DIN/CIDEN.**

Initiatives R&D pour le démantèlement

Rapport et Marche à suivre

Contexte

- ▶ R&D de l'AEN/OCDE et besoins en matière d'innovation pour le déclassement des installations nucléaires
 - Publié à l'été 2014
 - Champ d'application et budget attribués fin 2011
 - Objectif : décrire les enjeux, étudier et décrire les meilleures technologies actuelles, croiser les différents programmes de recherche (USA, UK, Suède, Italie, Espagne, Japon, France, Suisse), exposer les objectifs de recherche à travers 5 thèmes
 - Caractérisation et étude préalable au démantèlement
 - Technologies de segmentation et de démantèlement
 - Décontamination et réhabilitation
 - Gestion des matériaux et des déchets
 - Caractérisation du site et surveillance environnementale

Innovations et besoins en R&D pour la D&D

Le groupe de travail WPDD sur les besoins en R&D pour le déclassé a été constitué avec les membres suivants :

Gérard Laurent (EDF), président et thème 1

- ▶ Jean-Marc Idasiak (CEA)
- ▶ Jean-Guy Nokhamzon (CEA)
- ▶ **Per Lidar (Studsvik Nuclear AB), thème 4**
- ▶ Nieves Martin (ENRESA)
- ▶ Angelo Paratore (SOGIN)
- ▶ Harald Maxeiner (NAGRA)
- ▶ **James Mac Kinney (NDA), thème 2**
- ▶ **Mellanie Brownridge (NDA/UK), thème 2**

- Ben Volmert (NAGRA)
- **Boby Abu-Eid, USNRC, thème 5**
- **Andy Szilagyi, USDOE-EM), thème 3**
- Peter Orr (Agence pour l'environnement d'Angleterre et du Pays de Galles)
- John Inkester (NDA)
- Akihiro Kitamura (JAEA)
- Ivan Rehak, secrétariat NEA

Contexte

- ▶ R&D de l'AEN/OCDE et besoins en matière d'innovation pour le déclasserement des installations nucléaires
 - Essentiel des recherches R&D actuelles : été/automne 2012
 - Avant-projet final rendu : novembre 2012
 - Révision, édition, reformatage et amélioration : 2013
- ▶ **Le rapport:**
 - 266 pages,
 - 748 références,
 - Facile d'emploi avec des web links,
 - Bon résumé des MTD pour le D&D!
- ▶ Les technologies ont évolué en 2013 et 2014
- ▶ Notre compréhension des enjeux de déclasserement et des besoins en R&D continue à évoluer

Marche à suivre

- ▶ Deux objectifs principaux :
 - Développer des technologies pour un meilleur D&D, moins cher et plus rapide
 - Intégrer ces technologies à la chaîne d'approvisionnement et dans le contexte des projets D&D actuels et surtout futurs afin de lancer un cycle d'amélioration continue
- ▶ La difficulté principale est la réticence des managers en D&D à développer des nouvelles technologies et innovations
- ▶ Définir les initiatives de R&D pour le D&D
 - Description
 - Objectifs
 - Éléments livrables
 - Financement / Budget
- ▶ Écrire et publier des appels d'offres (RFP) pour chaque initiative

- ▶ D&D actuellement reste ‘artisanal’
- ▶ Il faut passer à des stades successifs
 - Industriel,
 - Standardisation,
 - Voire normalisation.
- ▶ L’innovation doit aider pour amorcer ces transitions.

Initiatives à large portée

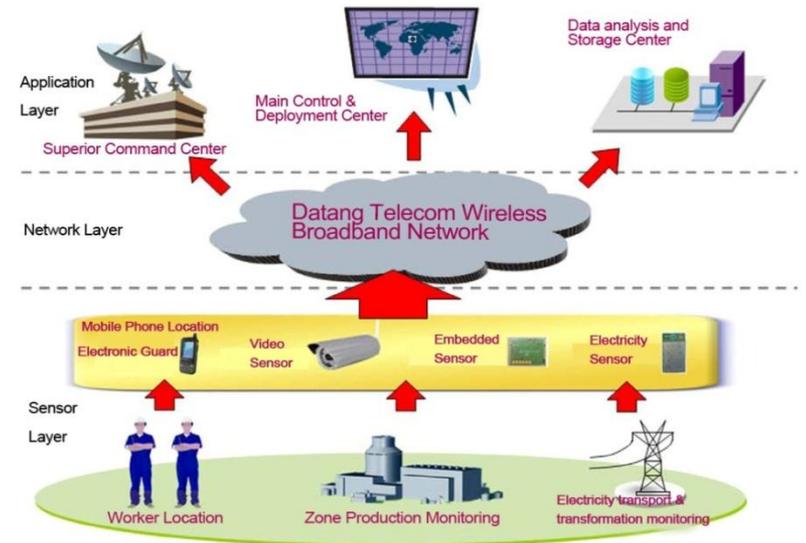
- ▶ Les premières initiatives ne sont pas couvertes par le rapport mais s'appuient sur des technologies émergentes et peuvent constituer des aides à l'opérateur sur des champs comme la sûreté, la sécurité et la gestion des déchets.
- ▶ Elles pourront être utilisées depuis la salle de commande ou en local.

Initiatives à large focus

- ▶ Les initiatives à large focus ont une application et un impact sur la plupart ou sur toutes les thématiques
- ▶ Elles fournissent les capacités et le cadre pour soutenir et favoriser d'autres initiatives d'innovation en D&D
- ▶ Exemples :
 - Technologies de communication et de partage d'information sans fil
 - A court terme automatiser les contrôles en laboratoires et les rapports d'activité, le suivi des déchets, de l'environnement, et le contrôle de la sécurité.
 - A long terme, disposer d'une communication 'robot à robot' et 'robot à humain' pour la sécurité du personnel et des manutentions (plus de présence humaine nécessaire).
 - Technologies de numérisation et de reconnaissance des structures
 - Image en 3D transmissible vers un ordinateur
 - Développer une intelligence artificielle capable de reconnaître ces images, de savoir les positionner et de détecter les changements (IBM et NARPA neurosynaptic technology),

Réseau de communication D&D

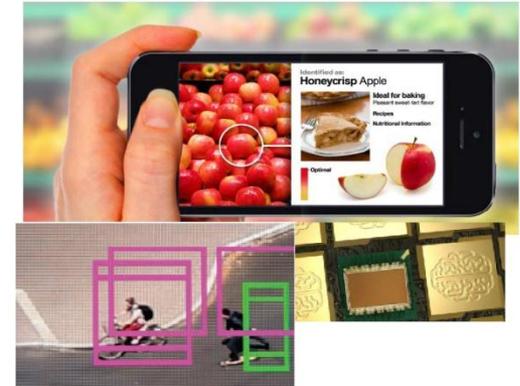
- ▶ Objectif - **développer un système sans fil ou cellulaire peu coûteux, prêt à l'emploi et facile à entretenir pour la D&D.**
- ▶ Objectif
 - Permet une gestion du travail plus efficace en utilisant les technologies de communication des données et de suivi du matériel
 - Permet le suivi machine à machine et homme à machine pour l'utilisation des commandes et contrôles hors site, machinerie en autonomie ou semi-autonomie et verrouillages sécuritaires



Rétrodiffusion par WiFi
 Système nucléaire sans fil Datang
 Radios Arbabian de Stanford
 Nano-émetteurs et nano-antennes
 Connaissance des emplacements réseau

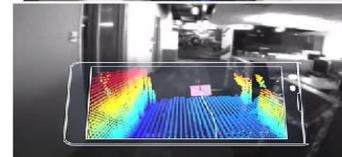
Reconnaissance des structures dans le cadre des D&D

- ▶ Objectif - développer des programmes de reconnaissances des structures basés sur de nouvelles technologies comme la puce neurosynaptique d'IBM
- ▶ Objectifs
 - Reconnaissance des structures pour les ouvrages nucléaires de D&D, composants (SSC)
 - Vidéo de la situation de l'objet avec emplacement localisé en lien avec des figures et informations sur la taille des objets, le poids, l'épaisseur, les matériaux
 - Verrouillage de sûreté de la machine et fonctions d'auto-performance pour robotique autonome



Vue d'ensemble d'un outil CAO 3D

- ▶ Objectif - Utilisation des technologies émergentes pour construire un outil de cartographie CAO 3D peu onéreux et fiable du site, des systèmes, des structures et des composants
- ▶ Objectifs
 - Développer le modèle CAO 3D pour les D&D
 - Permet les simulations D&D pour la planification
 - Permet l'utilisation d'un traitement géostatistique pour la caractérisation des données
 - Peut être fortement relié aux capacités de reconnaissances des formes



Initiatives spécifiques par thème

1. Caractérisation et étude préalables au démantèlement (C&S)
2. Technologies pour la segmentation et le démantèlement (S&D)
3. Décontamination et Réhabilitation (D&R)
4. Gestion des matériaux et des déchets (M&W)
5. Caractérisation du site et surveillance environnementale (S&E)

Thème 1 C&S EURSSEM géostatistique

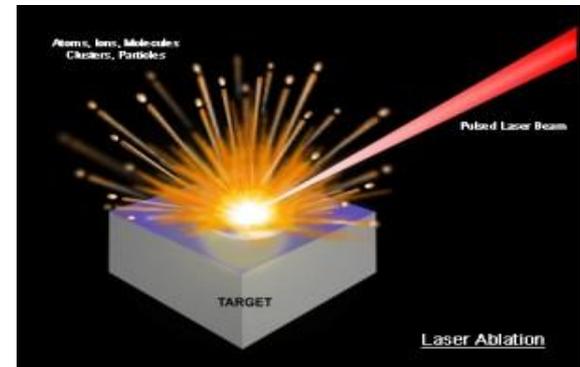
- ▶ Objectif - Mise à jour de EURSSEM, MARSSIM, MARSAME pour l'utilisation de la géostatistique

- ▶ Objectifs
 - Utilisation optimale de la cartographie émergente, de l'enregistrement des données et des capacités de suivi d'un échantillon RFID pour comprendre la distribution et la concentration des contaminants
 - Caractérisation plus efficace, marge d'incertitude réduite
 - Fournit une orientation pour la caractérisation et le statut final du site et permet la mise en œuvre d'une vérification du respect des critères de décontamination du site



Thème 1 C&S Spectroscopie laser isotopique

- ▶ Objectif - Évaluer et tester ou développer la Spectroscopie sur plasma induit par laser (LIBs) et la Spectrométrie de séparation moléculaire des isotopes par laser (LAMIS)
- ▶ Objectifs
 - Réduire la dépendance aux procédés de séparation chimique et aux techniques de comptage pour les nucléides difficiles à détecter (HTD)
 - Compléter et vérifier les concentrations prédictives Monte Carlo dans les matériaux activés
 - Disposer de plus d'échantillons et de données sur la distribution spatiale et les concentrations des HTD



Spectroscopie laser isotopique

- ▶ Caractéristiques requises
 - Évaluer la faisabilité d'utilisation basée sur un spectre de données disponibles pour les suites communes des nucléides concernés
- Évaluer la faisabilité et l'utilisation pour une haute activité (ex. : matériaux activés, déchets de haute activité (HA) etc.) et pour une basse activité compte tenu de l'état final des matériaux communs (ex. : sols et béton)
- H-3, C-14, Ni-63, Sr-90, Tc-99, I-129, ainsi que Eu-155 dans les neutrons des bétons activés, Cl-36 dans le graphite activé et pour les installations ayant eu des incidents historiques sur le combustible : Np-237, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Am-241, Cm-243, Cm-244.
- Évaluer les systèmes pour l'utilisation sur le terrain ou en laboratoire
- Déployer et tester ces systèmes pour les déclassements



Thème 1 C&S Sensibilité Appareil Alpha

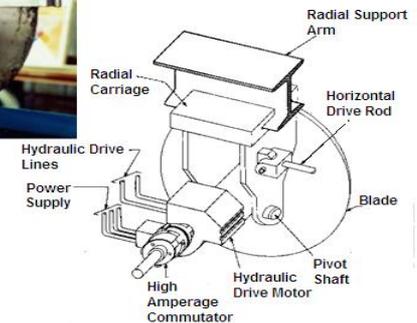
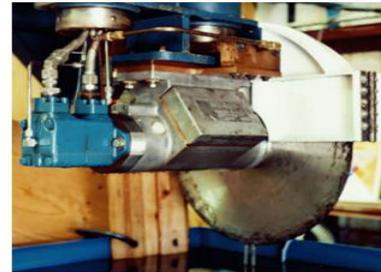
- ▶ Objectif - Augmenter la sensibilité d'une alpha-caméra grâce aux progrès des appareils UV et de fluorescence induite par laser

- ▶ Objectifs
 - Sensibilité du système actuel jusqu'à 1 kBq (60 000 dpm) pour détecter les risques de contamination alpha en surface
 - Ionisation alpha, bêta, gamma N dans l'air. Fluorescence 4 % N ions dans le spectre UV
 - De nouveaux appareils plus sensibles aux UV ont été développés dans les 2 dernières années
 - L'impulsion laser peut provoquer des traces à la fluorescence



Thème 2 S&D Segmentation des pièces internes des réacteurs

- ▶ Objectif - évaluer de nouvelles technologies de découpes sous l'eau - scie circulaire, laser



- ▶ Objectifs
 - Augmenter la vitesse et l'efficacité de la segmentation de l'équipement interne
 - Réaliser un test à petite échelle en utilisant une maquette immergée
 - Développer une conception de fonctionnement à grande échelle

Thème 2 S&D Segmentation des pièces internes des réacteurs

- ▶ Caractéristiques requises :
 - Vitesses supérieures de découpe
 - Génération de ligne de découpe mince et de faible débris

- Test de scies circulaires, lasers immergés, lasers assistants des découpes par jets d'eau sous pression etc...
- Fonctionnement à distance



Thème 2 S&D Équipe de machines de prise, découpe, conditionnement

- ▶ Objectif - Amorcer l'utilisation d'un équipement télécommandé pour le retrait de systèmes et d'équipement

- ▶ Objectifs
 - Amorcer l'utilisation d'un équipement télécommandé pour le retrait de composants et de systèmes au sein de bâtiments pour le déclasséement réel
 - Lancer le processus en vue de l'amélioration continue et de l'évaluation d'efficacité pour la prise, la découpe et le conditionnement de matériaux.
 - Ouvrir la voie à l'intégration de capacités autonomes et semi-autonomes avec suivi humain aux postes de travail



Thème 2 S&D Équipe de machines de prise, découpe, conditionnement

- ▶ Caractéristiques requises
 - Acquérir des plateformes de machines robustes, par ex. Grant GMM-1400 et/ou machines Brokk
- Acquérir des terminaux de découpe, prise et conditionnement
- Former l'équipe de roboticiens
- Tester des retraits SSC intérieurs et extérieurs sur des chantiers avec des équipes de machines de découpe, prise et conditionnement télécommandées.
- Effectuer une comparaison économique globale incluant la planification, l'exécution à froid et à chaud et les groupes de soutien. Équipes de maintenance pour robots à la place des équipes radioprotection, sécurité, supervision pour les interventions humaines, etc.



Thème 2 S&D Démonstration de robot en intérieur/extérieur

- ▶ Objectif - Amorcer l'utilisation d'un équipement télécommandé pour la démolition tant en intérieur qu'en extérieur

- ▶ Objectifs
 - Subventionner, inciter l'utilisation d'équipement télécommandé pour le déclassé réel D&D
 - Étudier l'utilisation sous des conditions typiques de D&D
 - Étudier les économies totales d'utilisation, notamment les différences en terme de temps d'exécution et de ressources nécessaires pour organiser et soutenir le travail
 - Débuter le cycle d'amélioration continue et tracer le chemin vers l'utilisation majoritaire de moyens autonomes (ie non humain)



Thème 2 S&D Test d'équipement télécommandé

- ▶ Caractéristiques requises
 - Développer des excavateurs, transporteurs, assainisseurs de béton et d'armature télécommandés et les tester sur des bâtiments
 - Déployer pour le(s) déclassé(s)
 - Tester la démolition intérieure et extérieure par une batterie de machines.



Thème 3 (D&R) Système de capture de découpe immergée

- ▶ Objectif – Développer un système amélioré pour la collecte de copeaux et de gaz radioactifs à la source pour des découpes thermiques.
- ▶ Objectifs
 - Permettre une plus large gamme de méthodes de découpe sur des composants actifs, en autorisant des découpes à haute température sur du matériel activé
 - Minimiser le délai de nettoyage et de démobilisation en capturant les contaminants potentiels au point de production
 - Réduire les temps d'arrêt pour le traitement en vue d'améliorer la clarté de l'eau de réduire les déchets secondaires et de diminuer les expositions au rayonnement



Systemes de capture lors de découpe sous eau

- ▶ Caractéristiques requises
 - Capture et condensation de gaz à haute température issu du découpage thermique

- Capture de copeaux sur une large gamme de tailles de particules, filtration et conditionnement sous-eau.
- Haut débit (3 785 l/min – 1 000 gal/min)
- Système d'aspiration sous-eau avec un entonnoir de collecte, une unité de séparation à cyclone pour séparer la taille de particules, le filtre primaire, le filtre fin et le système de conditionnement à distance pour autoriser l'envoi du filtre au stockage.



Thème 3 (D&R) Décontamination de béton et de métal

- ▶ Objectif – Développer et améliorer les équipements et les méthodes de décontamination existants

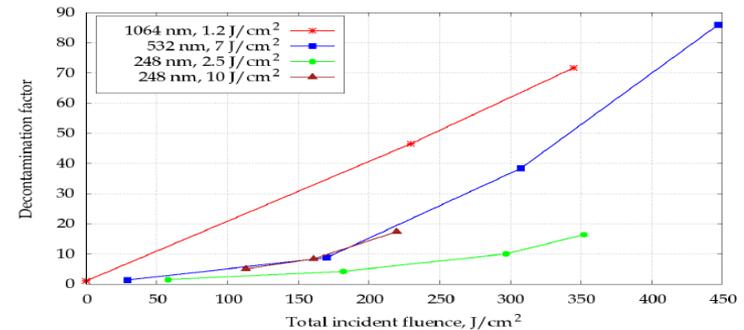


Figure 8: Factor of decontamination of vapour generator tube samples under water as a function of the total incident fluence for different irradiation wavelengths [22]

- ▶ Objectifs
 - Poursuivre le développement de fluides supercritiques et de la décontamination au laser à sec/humide
 - Mieux comprendre l'efficacité et la productivité et développer des équipements pouvant être testé sur le terrain. Étudier l'amélioration de l'efficacité de la décontamination en général en utilisant une combinaison de ces méthodes.

Thème 3 (D&R) Décontamination de béton et de métal

- ▶ Caractéristiques requises
 - Lancer un appel d'offres.
 - Développer et améliorer les technologies



- Rechercher des améliorations aux méthodes actuelles : ecroutage, lavage, gels, mousses, revêtement rétractable, électrocinétique, traitements absorbants, hydrolasing, grenailage abrasif, fraisage à commande numérique et décontamination laser.
- Tester les méthodes disponibles pour évaluer leur efficacité relative et les conditions d'utilisation optimales et identifier/recenser les améliorations possibles.

Thème 4 (M&S) Décontamination des fonds de réservoir

- ▶ Objectif – Développer des solutions mécaniques qui intègrent au traitement du déchet, l'extraction du fond du réservoir, la décontamination du réservoir et son déclassement final.



- ▶ Objectifs
 - Améliorer les méthodes mécaniques et chimiques pour extraire les fonds et décontaminer les résidus de réservoir et sceller la contamination dans le réservoir avant son envoi à l'exutoire.
 - Fournir un système modulaire pour l'extraction des fonds de réservoir et la décontamination avant déclassement et la démolition

Thème 4 (M&S) Décontamination des fonds de réservoir

- ▶ Caractéristiques requises :
 - Robotique modulaire ou système télécommandé
 - Systèmes réversibles polyvalents pour l'élimination des boues, la décontamination et le scellement de l'intérieur

- Capable d'utiliser une large gamme de traitements chimiques pour les fonds et les déchets restants afin de permettre leur élimination
- Résoudre le conditionnement et minimiser le volume des déchets secondaires.
- Inclure le conditionnement et le traitement des déchets avant la mise en conteneur pour le stockage final.



Thème 4 (M&S) Décontamination des sols

- ▶ Objectif – Développer de nouvelles technologies pour l'extraction et la concentration de contaminants issus de débris de sol

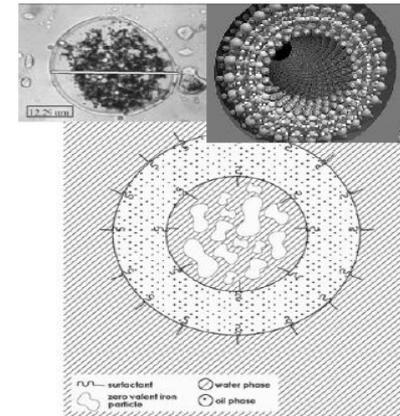


- ▶ Objectifs
 - Fournir des technologies de manipulation et de traitement de débris de sol afin de réduire les volumes de déchets et permettre la remise en état du site tout en minimisant la dégradation environnementale à long terme et l'utilisation de remblai.
 - Évaluer l'utilisation de nanotechnologies, fluides supercritiques, phytoremédiation, billage, etc. au sein des systèmes de traitement du sol.

Thème 4 (M&S) Décontamination des sols

- ▶ Caractéristiques requises
 - Systèmes modulaires à haut rendement pour le traitement des débris de sol afin d'éliminer le Cs, Sr, Pu et Am
- Capable de traiter de grands volumes de différents types de sol
- Traiter et conditionner les déchets secondaires concentrés à l'aide de nouveaux moyens : résine, ligand, HiCap, zéolithe, etc.
- Surveiller et évaluer le sol traité afin de vérifier qu'il peut être libéré.

Figure 4.12: Functional nano-sized pore within a SAMMS™



Source: US EPA (2008b).

Thème 4 (M&S) Conditionnement des déchets

- ▶ Objectif – Développer des matériaux et processus de conditionnement des déchets présentant des performances hautement fiables à long terme.

- ▶ Objectifs :
 - Augmenter la quantité de données fondamentales sur les propriétés physiques/chimiques et les performances des déchets conditionnés
 - Améliorer les connaissances et la modélisation des performances des déchets dans des conditions de stockage final
 - Développer des substrats de conditionnement performants pour les déchets



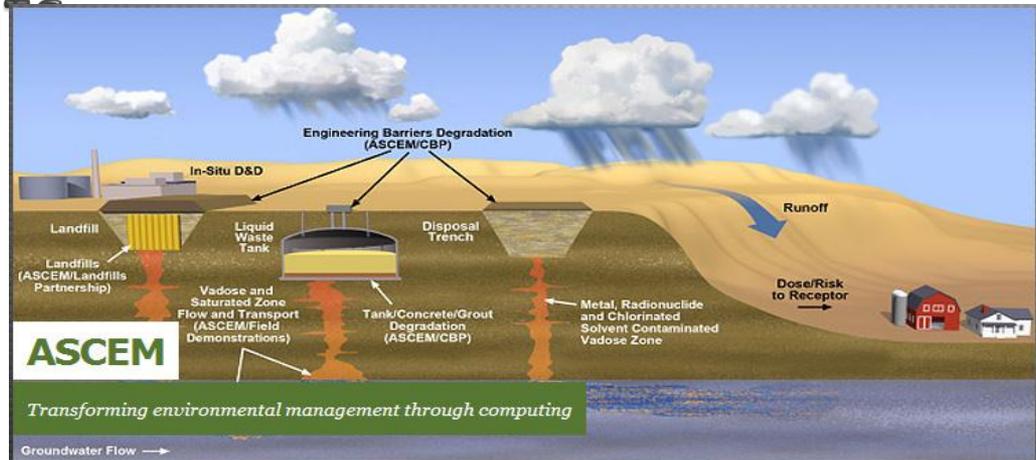
Thème 4 (M&S) Conditionnement des déchets

- ▶ Caractéristiques requises
 - Améliorer la compréhension fondamentale des propriétés physiques, des réactions chimiques et de la rétention de radionucléides dans les options de conditionnement retenues.
- Comprendre les performances des déchets conditionnés en simulation de conditions de stockage.
- Se focaliser en particulier sur les déchets organiques tels que les résines, le graphite et sur les radionucléides très mobiles tels que H-3 et C-14, ainsi que sur les transuraniens dans les déchets haute activité.



Thème 5 (S&E) Modèles du devenir et du transport de polluants

- ▶ Objectif – Mettre à jour et fusionner les codes existants tels que RESRAD, DUST-MS, ASCEM

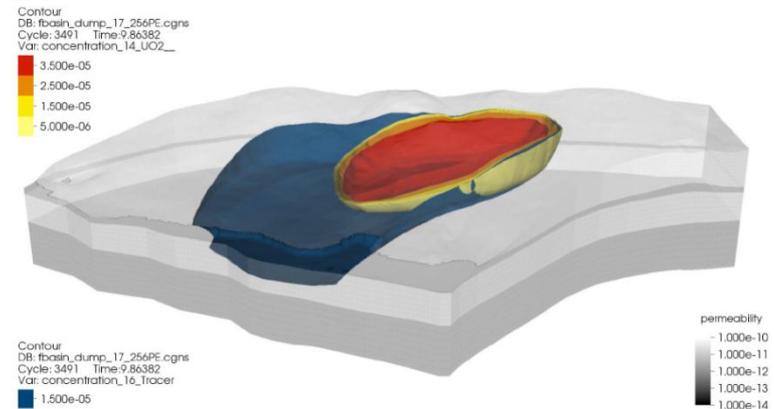


- ▶ Objectifs
 - Simplifier la modélisation de géométries complexes et de sources multiples.
 - Fournir des modélisation plus précises et plus fiables

Thème 5 (S&E) Modèles du devenir et du transport de polluants

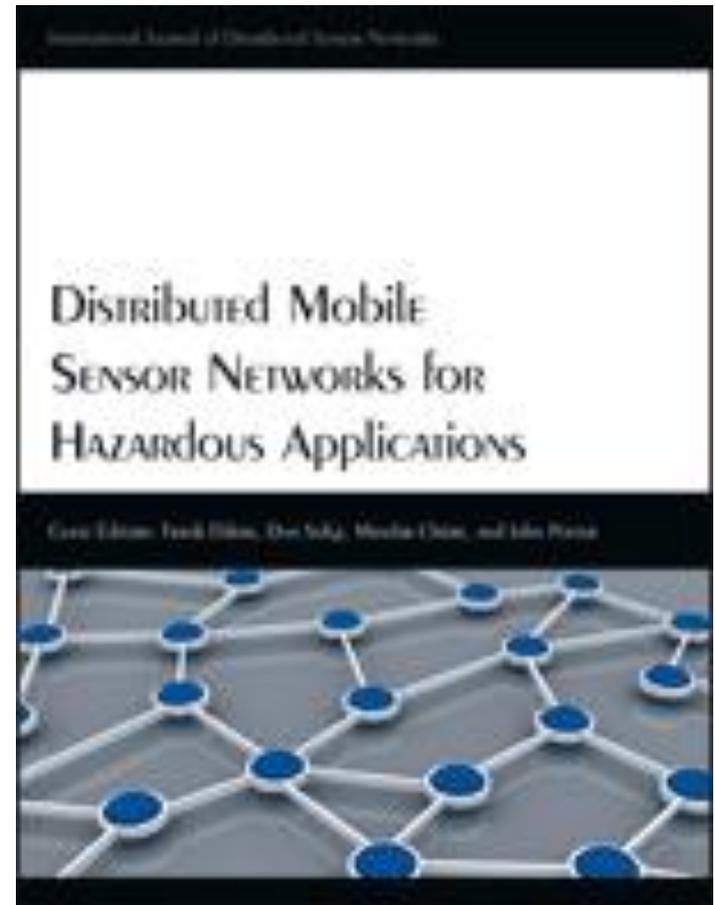
► Caractéristiques requises

- Données de caractérisation 2D/3D pouvant être chargées sur le modèle.
- Capacités géostatistiques
- Sources multiples
- Évaluation probabiliste des paramètres et tests de sensibilité
- Capacité à modéliser le transport via et autour de plusieurs médias et types de sol
- Capacité à modéliser le transport dans la zone non saturée et la zone saturée.
- Capacité à modéliser des sources multiples avec des contaminants différents



Thème 5 (S&E) Surveillance à long terme

- ▶ Objectif – Développer un suivi automatisé à long terme pour les entreposages de déchets, les environs des sites libérés et les sites de stockage finaux.
- ▶ Objectifs
 - Développer et tester des réseaux d'équipement de suivi fixes ou mobiles mais automatisés pour le suivi à long terme.



Thème 5 (S&E) Suivi à long terme

- ▶ Caractéristiques requises
 - Capteurs à faible consommation autoalimentés pour mesurer le rayonnement externe, la radioactivité dans l'eau et dans le sol, la chaleur, l'humidité, la température, l'action galvanique sur les sols
 - Prises d'échantillonnage et suivi mobiles télécommandées pour les vérifications de routine et les contrôles
 - Capteurs fixes pour conditions de suivi.
 - Transmission de données et logiciel d'analyse

